

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-087850  
 (43)Date of publication of application : 30.03.1999

(51)Int.Cl. H01S 3/18  
 H01L 33/00

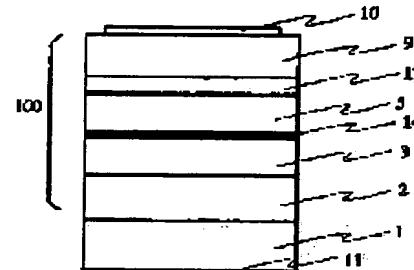
(21)Application number : 09-237925 (71)Applicant : SHARP CORP  
 (22)Date of filing : 03.09.1997 (72)Inventor : OMI SUSUMU  
 OKUMURA TOSHIYUKI  
 INOGUCHI KAZUHIKO

## (54) NITRIDE COMPOUND SEMICONDUCTOR LASER ELEMENT AND LASER DEVICE

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To prevent leakage of light of a gallium nitride compound semiconductor laser element by providing a clad layer of a sub-mount or the like at an opposite side to a mounting surface via an active layer in a laminated structure, and a light absorption layer having a smaller band gap than that of the active layer at an arbitrary site between the mounting surfaces.

**SOLUTION:** A semiconductor laminated structure 100 is provided on a low resistance n-type substrate 1. In the structure 100, an n-type GaN buffer layer 2, an n-type AlGaN clad layer 3, a non-doped InGaN active layer 14, an Mg-doped AlGaN clad layer 5, a p-type InGaN light absorption layer 17 having a smaller band gap than that of the layer 14 and a p-type GaN contact layer 9 are sequentially laminated from a side near the substrate 1. Further, a p-type side electrode 10 is formed on an upper surface of the layer 9, and an n-type side electrode 11 is formed on a rear surface of the substrate 1. Thus, leakage of a light from the gallium nitride compound semiconductor laser element can be prevented.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 26.08.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision]

BEST AVAILABLE COPY

[of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-87850

(43) 公開日 平成11年(1999)3月30日

(51) IntCl.<sup>6</sup>  
H 01 S 3/18  
H 01 L 33/00

識別記号

F I  
H 01 S 3/18  
H 01 L 33/00

C

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平9-237925

(22) 出願日 平成9年(1997)9月3日

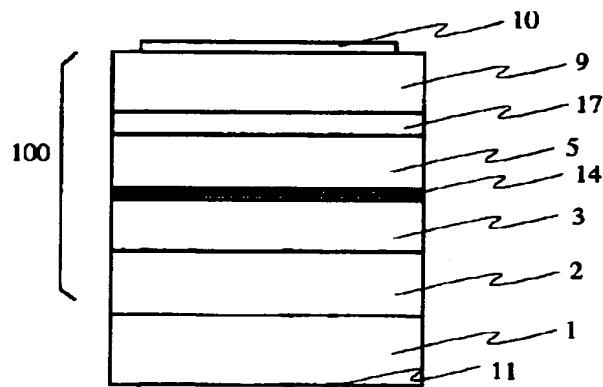
(71) 出願人 000005049  
シャープ株式会社  
大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号  
(72) 発明者 近江 晋  
大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ  
ヤープ株式会社内  
(72) 発明者 奥村 敏之  
大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ  
ヤープ株式会社内  
(72) 発明者 猪口 和彦  
大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ  
ヤープ株式会社内  
(74) 代理人 弁理士 梅田 勝

(54) 【発明の名称】窒化物系化合物半導体レーザ素子及びレーザ装置

(57) 【要約】

【課題】窒化ガリウム系化合物半導体レーザをパッケージに組み込んだ際、レーザ素子の積層構造体を通して漏れ出る光によるホトダイオードの誤作動があった。

【解決手段】基板と基板上の積層構造体を有する窒化物系化合物半導体レーザ素子において、積層構造体中の、活性層を挟んでサブマウント等へのマウント面とは反対側のクラッド層と、マウント面に、活性層よりも小さなバンドギャップを有する光吸収層を設けることを特徴とする、窒化物系化合物半導体レーザ素子。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板と、該基板上に設けられた積層構造体とを備えた窒化物系化合物半導体レーザ素子であって、該積層構造体中の、活性層を挟んでサブマウント等へのマウント面とは反対側のクラッド層と、当該マウント面の間の、任意の部位に、該活性層よりも小さなバンドギャップを有しているところの光吸收層を設けることを特徴とする、窒化物系化合物半導体レーザ素子。

【請求項2】 前記光吸收層にストライプ状の除去部があり、該積層構造体のマウント面とは反対側の面上に、発光部より該ストライプ状の除去部を通して、マウント面と反対側の面上に至る光路を完全に遮る形で、不透明電極が配置されていることを特徴とした、請求項1に記載の窒化物系化合物半導体レーザ素子。

【請求項3】 該積層構造体の、活性層を挟んで、サブマウント等へのマウント面と同じ側にも該活性層よりも小さなバンドギャップを有しているところの光吸收層を設けることを特徴とする、請求項1または請求項2に記載の窒化物系化合物半導体レーザ素子。

【請求項4】 前記電流狭窄層が、 $G_a, A_1, I_n$   
 $N (0 < s < 1, 0 \leq t < 1, 0 < s + t < 1)$   
 から形成されている事を特徴とする、請求項1、請求項2、または請求項3に記載の窒化物系化合物半導体レーザ素子。

【請求項5】 請求項1、請求項2、請求項3、または請求項4に記載の、窒化物系化合物半導体レーザ素子と受光素子が同一のパッケージ内に配置されたレーザ装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、青色領域から紫外領域で発光可能な窒化物系化合物半導体レーザ素子及びレーザ装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 窒化ガリウムは、バンドギャップが3.4 eVと大きいIII-V族化合物半導体である。

【0003】 このため、窒化ガリウム系化合物半導体は、青色領域から紫外光領域で発光可能な発光素子の材料として積極的に研究されている。図8を参照しながら、従来の窒化ガリウム系化合物半導体レーザを説明する。

【0004】 この半導体レーザは、3C-SiC基板46上に、n型GaNバッファ層22b、n型AlGaNクラッド層23、Asを添加したGaN発光層54、p型AlGaNクラッド層28、及びp型GaNコンタクト層59を順次積層した構造を備えている。p型AlGaNクラッド層28の上にはストライプ状開口部を有するn型GaN電流阻止層45が形成され、また、p型GaNコンタクト層59の上にはp側電極10が、3C-SiC基板の裏面にはn側電極11が、それぞれ形成さ

れている。p側電極10からn側電極11へ流れる電流は、n型GaN電流阻止層45によって狭窄される。このような窒化ガリウム系化合物半導体レーザは、例えば、特開平7-249820号公報に開示されている。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】 図8に示した従来の窒化ガリウム系化合物半導体レーザにおいては、電極を素子の上面及び下面の全面に渡って配置することは実用的ではなく、例えば図9に示すように、端部には電極により被覆されていない領域52を有する事が多い。図10は、従来の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ、それも図9でより詳細に示した、上面には電極により被覆されていない領域52を有する従来の窒化ガリウム系化合物半導体レーザを、パッケージに組み込んだ場合の一例を示す概念図である。図10において、50が半導体レーザ素子、51がホトダイオード、53が半導体レーザ素子の背面すなわち、図8における、電極10側である。また、図11(a)は図10に示した従来の窒化ガリウム系化合物半導体レーザを、パッケージに組み込んだ場合の、該半導体レーザ素子とホトダイオードとの位置関係を、図10に矢印Aで示した方向から見た状態を、図11(b)は、同じく、図10に矢印Bで示した方向から見た状態を示す概念図である。

【0006】 多くの場合、図10に示した様に、半導体レーザ素子50の背面53側には、該半導体レーザの背後の出力を検知し、制御する目的で、ホトダイオード51が配置されている。この場合、従来の窒化ガリウム系化合物半導体レーザにおいては、その構成要素であるところの積層構造体が発振波長に対して透明であるため、活性層中で発生した光の一部は図11(a)及び(b)に示した様に、レーザ素子の上面の、電極により被覆されていない領域52から漏れ出て、当該ホトダイオードにノイズとなって入射し、誤制御の原因となる可能性があった。また、一般的なパッケージにおいては、気密封止のためにキャップが溶接されているため、漏れ出た光は、キャップ内壁に当たって多重反射を起こすため、ホトダイオード51が、図10に示した様な半導体レーザ素子50の背面53側以外の場所に配置されている場合においても、当該ホトダイオードにノイズとなって入射し、誤制御の原因となる可能性があった。

【0007】 本発明は、上記事情を鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子と同一のパッケージ内に配置されるホトダイオードによる誤制御の原因となるところの、当該窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子からの光の漏れを生じない、窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子、当該窒化物系化合物半導体レーザ素子と受光素子が同一のパッケージ内に配置されたレーザ装置、並びに、当該窒化物系化合物半導体レーザ素子を受光素子で光電変換し、その光電変換出力を元に、該窒化物系化合物半

導体レーザ素子に注入する電流を制御する回路、を提供する事にある。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明の請求項1に記載の窒化物系化合物半導体レーザ素子は、基板と、該基板上に設けられた積層構造体とを備えた窒化物系化合物半導体レーザ素子であって、該積層構造体中の、活性層を挟んでサブマウント等へのマウント面とは反対側のクラッド層と、当該マウント面の間の、任意の部位に、該活性層よりも小さなバンドギャップを有しているところの光吸收層を設けることを特徴とする。

【0009】本発明の請求項2に記載の窒化物系化合物半導体レーザ素子は、請求項1に記載の発明において、前記光吸收層にストライプ状の除去部があり、該積層構造体のマウント面とは反対側の面上に、発光部より該ストライプ状の除去部を通して、マウント面と反対側の面上に至る光路を完全に遮る形で、不透明電極が配置されていることを特徴とする。

【0010】本発明の請求項3に記載の窒化物系化合物半導体レーザ素子は、請求項1または2に記載の発明において、該積層構造体の、活性層を挟んで、サブマウント等へのマウント面と同じ側にも該活性層よりも小さなバンドギャップを有しているところの光吸收層を設けることを特徴とする。

【0011】本発明の請求項4に記載の窒化物系化合物半導体レーザ素子は、請求項1または請求項2または請求項3に記載の発明において、前記電流狭窄層が、 $Ga_{0.8}Al_{0.2}In_{0.4}N$  ( $0 < s \leq 1, 0 \leq t < 1, 0 < s + t \leq 1$ ) から形成されている事を特徴とする。

【0012】本発明の請求項5に記載の半導体レーザ装置は、請求項1、請求項2、請求項3、または請求項4に記載の、窒化物系化合物半導体レーザ素子と受光素子が同一のパッケージ内に配置されたことを特徴とする。

【0013】次に本発明の作用について説明する。本発明の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子において、両電極間に電圧が与えられると、半導体積層構造体の中をp側電極からn側電極へと電流が流れ、発光が活性層において生じるが、その光はクラッド層中にも一部染み出しを生じる。しかしながら、活性層を挟んで、サブマウント等へのマウント面とは反対側に、該活性層よりも小さなバンドギャップを有しているところの光吸收層を具備しているため、該窒化ガリウム系化合物半導体レーザと同一パッケージ内にホトダイオードが配置された場合でも、クラッド層中へ染み出した光は、該光吸收層に吸収されてしまうか、電流路となる該光吸收層の開口部を通過した後、上面の電極により遮光されてしまうかのいずれかで、いずれの場合によっても、ホトダイオードにノイズとなって入射し、誤制御の原因となる事はない。

【0014】さらに好ましくは、活性層を挟んで、サブ

マウント等へのマウント面とは同じ側にも、該活性層よりも小さなバンドギャップを有しているところの光吸收層を設けていれば、例え基板材料が発光波長に対して透明であった場合でも、クラッド層中へ染み出した光がマウント面で反射して雑音となる事もない。

【0015】またさらに好ましくは、該光吸收層を、活性層に対して、該光吸收層と同じ側にある各層とは互いに異なる導電型を有するものとし、かつ該光吸收層内に、ストライプ状の除去部を設ける事により、該光吸收層に、電流狭窄の効果を付与することができる。

【0016】

【発明の実施の形態】以下に、本発明を説明する。なお、本願明細書において、「窒化ガリウム系化合物半導体」とは、窒化ガリウム(GaN)のGaNが部分的に他のIII族元素に置き換えられた半導体、例えば、 $Ga_{0.8}Al_{0.2}In_{0.4}N$  ( $0 < s \leq 1, 0 \leq t < 1, 0 < s + t \leq 1$ ) を含み、各構成原子の一部が不純物原子等に置き換えられた半導体や、他の不純物が添加された半導体をも含むものとする。

【0017】(実施例1) 図1を参照しながら、本発明による窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子の第1の実施例を説明する。図1は、本実施例の半導体レーザ素子の断面を模式的に示している。この半導体レーザ素子は、図1に示されるように、低抵抗n型6H-SiC基板1と、基板1上に設けられた半導体積層構造100と、発光に必要な電流(駆動電流)を供給するための一対の電極10及び11とを備えている。また、この半導体レーザ素子のマウント面は、電極11側である。

【0018】以下に、半導体積層構造100の構成を詳細に説明する。この半導体積層構造100は、低抵抗n型6H-SiC基板1に近い側から順番に、n型GaNバッファ層(厚さ0.6μm)2、n型 $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ クラッド層(厚さ0.7μm)3、ノンドープIn<sub>0.32</sub>Ga<sub>0.68</sub>N活性層(厚さ40Å)4、Mgドープ $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ クラッド層(厚さ0.7μm)5、p型In<sub>0.36</sub>Ga<sub>0.64</sub>N光吸收層(厚さ0.2μm)6、およびp型GaNコンタクト層(厚さ0.5μm)9を含んでいる。

【0019】p型GaNコンタクト層9の上面にはp側電極10が形成され、基板1の裏面にはn側電極11が形成されている。不図示の電流供給回路から電極10及び11に電圧が与えられると、半導体積層構造体100の中をp側電極10からn側電極11へと電流が流れ、発光は活性層において生じるが、その光はクラッド層中にも一部染み出しを生じる。しかし、p型In<sub>0.36</sub>Ga<sub>0.64</sub>N光吸收層6が、活性層よりも小さなバンドギャップを有し、さらにp型 $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ クラッド層5を挟んでノンドープIn<sub>0.32</sub>Ga<sub>0.68</sub>N活性層4と反対側に形成されているため、該窒化ガリウム系化合物半導体レーザと同一パッケージにホトダイオードが配置さ

れた場合でも、p型  $A_{1.01}G_{a0.9}N$  クラッド層5中へ染み出した光は、p型  $I_{n0.35}G_{a0.64}N$  光吸収層17に吸収されてしまい、該ホトダイオードにノイズとなって入射し、誤制御の原因となる事はない。

【0020】以下に、図1の半導体レーザ素子の製造方法を説明する。なお、本実施例では、窒化ガリウム系半導層の形成に有機金属化合物気相成長法(MOCVD法)を用いる。詳細には、V族原料としてアンモニア( $NH_3$ )を用い、III族原料としてトリメチルガリウム(TMGA)、トリメチルアルミニウム(TMA)、またはトリメチルインジウム(TMI)を用いる。キャリアガスは  $H_2$  及び  $N_2$  がある。P型不純物としては、ビスシクロペンタジエニルマグネシウム( $C_{p2}Mg$ )、N型不純物としては、モノシラン( $SiH_4$ )を用いる。

【0021】上記MOCVD法によって結晶成長を行うため、低抵抗のn型6H-SiC基板1を不図示のMOCVD装置のサセプタ上に配置した後、基板温度を1200°C程度にまで昇温することによって、基板1の表面に対して清浄化処理を施す。

【0022】次に、n型6H-SiC基板1の温度を1000°C程度まで降温した後、n型6H-SiC基板1の上に、n型GaNバッファ層2、n型  $A_{1.01}G_{a0.9}N$  クラッド層3を成長させる。その後、基板温度を800~850°C程度に降温し、ノンドープ  $I_{n0.35}G_{a0.68}N$  活性層14を成長させる。次に、基板温度を1000°C程度まで昇温し、Mgドープ  $A_{1.01}G_{a0.9}N$  クラッド層5を成長させる。その後、その後、基板温度を再び800~850°C程度に降温し、Mgドープ  $I_{n0.35}G_{a0.64}N$  光吸収層17を成長させ、さらに基板温度を1000°C程度まで昇温し、MgドープGaNコンタクト層9を成長させる。然る後、基板1をMOCVD装置から取り出した後、 $N_2$  雰囲気で、800°Cの熱アニーリングを行い、それによってMgドープ層をp型に変化させる。この後、p型GaNコンタクト層9上にp側電極10を形成し、低抵抗n型6H-SiC基板1の裏面にn側電極11を形成する。

【0023】尚、本実施例では、n型GaNバッファ層2の厚みを0.6μmとしたが、0.5~4μm程度であればよい。0.5μmより薄いと、当該n型GaNバッファ層上の積層構造に基板の結晶欠陥を引き継ぎ易く、4μmより厚いと、当該n型GaNバッファ層自体の抵抗成分が無視できない程に増大する。また、n型  $A_{1.01}G_{a0.9}N$  クラッド層3とMgドープ  $A_{1.01}G_{a0.9}N$  クラッド層5の厚みを0.7μmとしたが、0.7~1μm程度であればよい。0.7μmより薄いと活性層で生じる光の閉じ込めが不十分となり、1μmより厚いと、当該  $A_{1.01}G_{a0.9}N$  クラッド層中にクラックが発生する危険性が高くなる。また、ノンドープ  $I_{n0.32}G_{a0.68}N$  活性層14の厚みを40Åとしたが、3

0~800Å程度であればよい。30Åより薄いと光の閉じ込めが不十分となり、800Åより厚いと、しきい電流密度の増大を招く。また、p型  $I_{n0.35}G_{a0.64}N$  光吸収層17の厚みを0.2μmとしたが、0.05~0.5μm程度であればよい。0.05μmより薄いと光吸収の効果が十分ではなく、0.5μmより厚いと、正孔の活性層への注入効率の低下が許容できない程に増大する。また、p型GaNコンタクト層9の厚みを0.5μmとしたが、0.1~1μm程度であればよい。

10 0.1μmより薄いとp側電極10とのコンタクト抵抗が十分に下がらず、1μmより厚いと、当該p型GaNコンタクト層自体の抵抗成分が無視できない程に増大する。

【0024】以上説明した実施例1においては、活性層よりもバンドギャップの小さな光吸収層の存在によって、その光吸収層の組成や層厚によっては、キャリアの活性層への注入効率が低下する事も懸念される。この点は、当該光吸収層に、開口部を設け、開口部から漏れ出る光については電極デザインで遮光できる構造をとることで解決できる。以下に、実施例2でしめす。

【0025】(実施例2) 図2を参照しながら、本発明による窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子の第2の実施例を説明する。図2は、本実施例の半導体レーザ素子の断面を模式的に示している。この半導体レーザ素子は、図2に示されるように、低抵抗n型6H-SiC基板1と、基板1上に設けられた半導体積層構造200と、発光に必要な電流(駆動電流)を供給するための一対の電極10及び11とを備えている。また、この半導体レーザ素子のマウント面は、電極11側である。

30 【0026】以下に、半導体積層構造200の構成を詳細に説明する。この半導体積層構造200は、低抵抗n型6H-SiC基板1に近い側から順番に、n型GaNバッファ層(厚さ0.7μm)2、n型  $A_{1.01}G_{a0.9}N$  クラッド層(厚さ0.8μm)3、ノンドープ  $I_{n0.31}G_{a0.69}N$  活性層(厚さ50Å)24、p型  $A_{1.01}G_{a0.9}N$  クラッド層(厚さ0.8μm)5、n型  $I_{n0.35}G_{a0.65}N$  光吸収層(厚さ0.1μm)26、およびp型GaNコンタクト層(厚さ0.8μm)9を含んでいる。ここで、n型  $I_{n0.35}G_{a0.65}N$  光吸収層26は、共振器長方向に延びるストライプ状の領域に開口部を持っている。

【0027】MgドープGaNコンタクト層9の上面にはp側電極10が形成され、基板1の裏面にはn側電極11が形成されている。ここでp側電極10は不透明電極であり、発光部より該ストライプ状の領域を通り、p型GaNコンタクト層9を経て、素子外部へ至る光路を完全に遮る形で配置されている。

【0028】不図示の電流供給回路から電極10及び11に電圧が与えられると、半導体積層構造体200の中をp側電極10からn側電極11へと電流が流れる。こ

の際、p型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ クラッド層5と、p型 $\text{GaN}$ コンタクト層9とに挟まれたn型 $\text{In}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{N}$ 光吸収層26は、p型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ クラッド層5やp型 $\text{GaN}$ コンタクト層9と反対の導電型を有しているために、正孔の活性層への注入を大きく阻害する作用をしてしまうが、本実施例のように、当該n型 $\text{In}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{N}$ 光吸収層26にストライプ状の開口部を設けておけば、正孔は選択的に開口部を通して活性層へ注入され、発光は活性層の当該開口部の直下にある部分において生じる。その光はクラッド層中にも一部染み出しを生じる。しかし、p型 $\text{In}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{N}$ 光吸収層27が、活性層よりも小さなバンドギャップを有し、さらにp型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ クラッド層5を挟んでノンドープ $\text{In}_{0.31}\text{Ga}_{0.69}\text{N}$ 活性層24と反対側に形成されているため、該窒化ガリウム系化合物半導体レーザと同一パッケージ内にホトダイオードが配置された場合でも、Mgドープ $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ クラッド層5中へ染み出した光は、p型 $\text{In}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{N}$ 光吸収層27に吸収されてしまうか、電流路となるp型 $\text{In}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{N}$ 光吸収層27の開口部を通過した後、p側電極10により遮光されてしまうかのいずれかで、いずれの場合によっても、該ホトダイオードにノイズとなって入射し、誤制御の原因となる事はない。また、本実施例においては、n型 $\text{In}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{N}$ 光吸収層26が、前述の通り、p型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ クラッド層5やp型 $\text{GaN}$ コンタクト層9と反対の導電型を有しているために、有していない場合に対して、しきい電流の低減や横モードの制御が可能であるという利点もある。

【0029】以下に、図5(a)～(f)を参照しながら、図2の半導体レーザ素子の製造方法を説明する。実施例1で用いたものと同様のMOCVD法によって、1回目の結晶成長を行うため、低抵抗のn型6H-SiC基板1を不図示のMOCVD装置のサセプタ上に配置した後、基板温度を1200°C程度にまで昇温することによって、基板1の表面に対して清浄化処理を施す。

【0030】次に、n型6H-SiC基板1の温度を1000°C程度まで降温した後、n型6H-SiC基板1の上に、n型 $\text{GaN}$ バッファ層2、n型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ クラッド層3を成長させる。その後、基板温度を800～850°C程度に降温し、ノンドープ $\text{In}_{0.31}\text{Ga}_{0.69}\text{N}$ 活性層24を成長させる。次に、基板温度を1000°C程度まで昇温し、Mgドープ $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ クラッド層5を成長させる。その後、その後、基板温度を再び800～850°C程度に降温し、Mgドープ $\text{In}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{N}$ 光吸収層27を成長させる。こうして、図5(a)に示す構造が得られる。

【0031】次に、一且、上記半導体層の積層された基板1を成長室から取り出した後、通常のフォトリソグラフィ技術によって、図5(b)に示すようなマスク12をMgドープ $\text{In}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{N}$ 光吸収層27上に形成

する。このマスク12は、レジストから形成されたものであってもよく、また、 $\text{SiO}_x$ や $\text{SiN}_x$ (xは1から2程度の整数)、あるいは $\text{Ni}$ から形成されたものであってもよい。マスク12は、ストライプ状の開口部13を有している。

【0032】次に、ドライエッティング技術によって、図5(c)に示されるように、Mgドープ $\text{In}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{N}$ 光吸収層27のうち、マスク12で覆われていない部分を選択的にエッティングする。Mgドープ $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ クラッド層5の表面が露出した時点で、エッティングをストップさせる。上記エッティングは、例えば、 $\text{Cl}_2$ 等のガスを用いたRIEによって行われ得る。この後、図5(d)に示したとおり、適切なエッチャント、例えばマスク12がフォトレジストである場合は有機溶剤、によってマスク12を除去する。

【0033】その後、2回目の結晶成長(再成長)のため、再び、基板1をMOCVD装置のサセプタ上にセットし、基板温度を1000°C程度まで昇温した後、図5(e)に示すように、Mgドープ $\text{GaN}$ コンタクト層9を成長させる。

【0034】然る後、基板1をMOCVD装置から取り出した後、 $\text{N}_2$ 雰囲気で、800°Cの熱アニーリングを行い、それによってMgドープ層をp型に変化させる。この後、図5(f)に示すように、p型 $\text{GaN}$ コンタクト層9上にp側電極10を形成し、低抵抗n型6H-SiC基板1の裏面にn側電極11を形成する。

【0035】尚、本実施例では、n型 $\text{GaN}$ バッファ層2の厚みを0.7μmとしたが、0.5～4μm程度であればよい。0.5μmより薄いと、当該n型 $\text{GaN}$ バッファ層上の積層構造に基板の結晶欠陥を引き継ぎ易く、4μmより厚いと、当該n型 $\text{GaN}$ バッファ層自体の抵抗成分が無視できない程に増大する。また、n型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ クラッド層3とMgドープ $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ クラッド層5の厚みを0.8μmとしたが、0.7～1μm程度であればよい。0.7μmより薄いと活性層で生じる光の閉じ込めが不十分となり、1μmより厚いと、当該 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ クラッド層中にクラックが発生する危険性が高くなる。また、ノンドープ $\text{In}_{0.31}\text{Ga}_{0.69}\text{N}$ 活性層24の厚みを50Åとしたが、30～800Å程度であればよい。30Åより薄いと光の閉じ込めが不十分となり、800Åより厚いと、しきい電流密度の増大を招く。また、n型 $\text{In}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{N}$ 光吸収層26の厚みを0.1μmとしたが、0.05～0.5μm程度であればよい。0.05μmより薄いと光吸収の効果が十分ではなく、0.5μmより厚いと、正孔の活性層への注入効率の低下が許容できない程に増大する。また、p型 $\text{GaN}$ コンタクト層9の厚みを0.8μmとしたが、0.1～1μm程度であればよい。

0.1μmより薄いとp側電極10とのコンタクト抵抗が十分に下がらず、1μmより厚いと、当該p型 $\text{GaN}$

コンタクト層自体の抵抗成分が無視できない程に増大する。

【0036】以上説明した、実施例1及び2においては、光吸収層を活性層を挟んで、サブマウント等へのマウント面とは反対側のみに設けたが、例えば選択する基板が、発光波長に対して透明であり、活性層を挟んで、サブマウント等へのマウント面と同じ側に漏れ出した光がマウント面で反射を起こし素子外へと漏れ出る事が考えられる場合も、同様に解決できる。この場合は、サブマウント等へのマウント面と同じ側にも光吸収層を設ければ良い。以下に、実施例3及び4で説明する。

【0037】(実施例3) 図3を参照しながら、本発明の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子の第3の実施例を説明する。本実施例の半導体レーザ素子は、図3に示されるように、低抵抗n型GaN基板21と、基板21上に設けられた半導体積層構造300と、発光に必要な電流を供給するための一対の電極10及び11とを備えている。また、この半導体レーザ素子のマウント面は、電極11側である。

【0038】以下に、半導体積層構造300の構成を説明する。この半導体積層構造300は、低抵抗GaN基板21に近い側から順番に、n型GaNバッファ層(厚さ0.9μm)2、n型In<sub>0.34</sub>Ga<sub>0.66</sub>N光吸収層(厚さ0.1μm)36、n型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層(厚さ0.9μm)3、ノンドープIn<sub>0.34</sub>Ga<sub>0.66</sub>N活性層(厚さ150Å)34、p型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層(厚さ0.9μm)5、p型In<sub>0.34</sub>Ga<sub>0.66</sub>N光吸収層(厚さ0.1μm)37、およびp型GaNコンタクト層(厚さ0.9μm)9を含んでいる。ここで、P型In<sub>0.34</sub>Ga<sub>0.66</sub>N光吸収層37は、共振器長方向に延びるストライプ状の領域に開口部を持っている。

【0039】P型GaNコンタクト層9の上面にはp側電極10が形成され、基板の裏面にはn側電極11が形成されている。ここでp側電極10は不透明電極であり、発光部より該ストライプ状の領域を通り、p型GaNコンタクト層9を経て、素子外部へ至る光路を完全に遮る形で配置されている。

【0040】不図示の電流供給回路から電極10及び11に電圧が与えられると、半導体積層構造300の中をp側電極10からn側電極11へと電流が流れる。この際、p型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層5と、p型GaNコンタクト層9とに挟まれたp型In<sub>0.34</sub>Ga<sub>0.66</sub>N光吸収層37は、そのバンドギャップが活性層のそれよりも小さいために、正孔の活性層への注入を阻害する作用をしてしまうが、本実施例のように、当該p型In<sub>0.34</sub>Ga<sub>0.66</sub>N光吸収層37にストライプ状の開口部を設けておけば、正孔は開口部を通して活性層へ注入され、発光は活性層の当該開口部の直下にある部分において生じる。その光はクラッド層中にも一部染み出しを生

じる。しかし、該窒化ガリウム系化合物半導体レーザと同一パッケージ内にホトダイオードが配置されていても、p型In<sub>0.34</sub>Ga<sub>0.66</sub>N光吸収層37及びn型In<sub>0.34</sub>Ga<sub>0.66</sub>N光吸収層36が、活性層の上下にそれぞれ配置されているために、上下いずれのクラッド層に漏れ出した光も、上下の光吸収層に吸収されてしまうか、p型In<sub>0.34</sub>Ga<sub>0.66</sub>N光吸収層27の開口部を通過した後、p側電極10により遮光されてしまうかのいずれかで、いずれの場合によっても、該ホトダイオードにノイズとなって入射し、誤制御の原因となる事はない。

【0041】以下に、図6(a)～(f)を参照しながら、図3の半導体レーザ素子の製造方法を説明する。実施例1で用いたものと同様のMOCVD法によって、1回目の結晶成長を行うため、低抵抗のn型GaN基板21を不図示のMOCVD装置のサセプタ上に配置し、基板温度を1000°C程度にまで昇温した後、n型GaN基板21の上に、n型GaNバッファ層2を成長させる。その後、基板温度を800～850°C程度に降温し、n型In<sub>0.34</sub>Ga<sub>0.66</sub>N光吸収層36を形成し、その後、再び基板温度を1000°C程度まで昇温した後、n型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層3を成長させる。然る後に再び、基板温度を800～850°C程度に降温し、ノンドープIn<sub>0.34</sub>Ga<sub>0.66</sub>N活性層34を形成する。その後、基板温度を1000°C程度まで昇温した後、MgドープAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層5を形成する。次に再び、基板温度を800～850°C程度に降温し、MgドープIn<sub>0.34</sub>Ga<sub>0.66</sub>N光吸収層37を成長させる。こうして、図6(a)に示す構造が得られる。

【0042】次に、一且、上記半導体層の積層された基板1を成長室から取り出した後、通常のフォトリソグラフィ技術によって、図6(b)に示すようなマスク12をMgドープIn<sub>0.34</sub>Ga<sub>0.66</sub>N光吸収層37上に形成する。このマスク12は、レジストから形成されたものであってもよく、また、SiO<sub>x</sub>やSiNx(xは1から2程度の整数)、あるいはNiから形成されたものであってもよい。マスク32は、ストライプ状の開口部13を有している。

【0043】次に、ドライエッチング技術によって、図6(c)に示されるように、MgドープIn<sub>0.34</sub>Ga<sub>0.66</sub>N光吸収層37のうち、マスク12で覆われていない部分を選択的にエッチングする。MgドープAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層5の表面が露出した時点で、エッチングをストップさせる。上記エッチングは、例えば、Cl<sub>2</sub>等のガスを用いたRIEによって行われ得る。この後、図6(d)に示したとおり、適切なエッチャント、例えばマスク12がフォトレジストである場合は有機溶剤、によってマスク12を除去する。

【0044】その後、2回目の結晶成長(再成長)のため、再び、基板をMOCVD装置のサセプタ上にセットし、基板温度を1000°C程度まで昇温した後、p型G

a Nコンタクト層9を成長させる。しかる後、基板をMOCVD装置から取り出した後、N<sub>2</sub>雰囲気で、800°Cの熱アニーリングを行い、それによってMgドープ層をp型に変化させる。この後、図6(f)に示すように、p型GaNコンタクト層9上にp側電極10を形成し、低抵抗n型GaN基板21の裏面にn側電極11を形成する。

【0045】尚、本実施例では、n型GaNバッファ層2の厚みを0.9μmとしたが、0.5~4μm程度であればよい。0.5μmより薄いと、当該n型GaNバッファ層上の積層構造に基板の結晶欠陥を引き継ぎ易く、4μmより厚いと、当該n型GaNバッファ層自体の抵抗成分が無視できない程に増大する。また、n型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層3とMgドープAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層5の厚みを0.9μmとしたが、0.7~1μm程度であればよい。0.7μmより薄いと活性層で生じる光の閉じ込めが不十分となり、1μmより厚いと、当該Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層中にクラックが発生する危険性が高くなる。また、n型In<sub>0.34</sub>Ga<sub>0.66</sub>N光吸収層36とp型In<sub>0.34</sub>Ga<sub>0.66</sub>N光吸収層37の厚みをそれぞれ0.1μmとしたが、0.05~0.5μm程度であればよい。0.05μmより薄いと光吸収の効果が十分ではなく、0.5μmより厚いと、キャリアの活性層への注入効率の低下が許容できない程に増大する。また、ノンドープIn<sub>0.30</sub>Ga<sub>0.70</sub>N活性層34の厚みを150Åとしたが、30~800Å程度であればよい。30Åより薄いと光の閉じ込めが不十分となり、800Åより厚いと、しきい電流密度の増大を招く。また、p型GaNコンタクト層9の厚みを0.9μmとしたが、0.1~1μm程度であればよい。0.1μmより薄いとp側電極10とのコンタクト抵抗が十分に下がらず、1μmより厚いと、当該p型GaNコンタクト層自体の抵抗成分が無視できない程に増大する。

【0046】以上、実施例3では、活性層を挟んで、サブマウント等へのマウント面と同じ側にも光吸収層を設けた例であるが、場合により、実施例4の通り、当該光吸収層に開口部を設ける事も可能である。

【0047】(実施例4)図4を参照しながら、本発明の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子の第4の実施例を説明する。本実施例の半導体レーザ素子は、図4に示されるように、低抵抗n型GaN基板21と、基板21上に設けられた半導体積層構造400と、発光に必要な電流を供給するための一対の電極10及び11とを備えている。また、この半導体レーザ素子のマウント面は、電極11側である。

【0048】以下に、半導体積層構造400の構成を説明する。この半導体積層構造400は、低抵抗n型GaN基板21に近い側から順番に、n型GaNバッファ層(厚さ1.0μm)2、n型Ga<sub>0.615</sub>Al<sub>0.038</sub>In<sub>0.347</sub>N光吸収層(厚さ0.2μm)46、n型Al<sub>0.1</sub>

Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層(厚さ1μm)3、ノンドープIn<sub>0.347</sub>Ga<sub>0.615</sub>N活性層(厚さ250Å)44、p型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層(厚さ1μm)5、p型Ga<sub>0.615</sub>Al<sub>0.038</sub>In<sub>0.347</sub>N光吸収層(厚さ0.2μm)47、およびp型GaNコンタクト層(厚さ1.0μm)9を含んでいる。

【0049】ここで、n型Ga<sub>0.615</sub>Al<sub>0.038</sub>In<sub>0.347</sub>N光吸収層46及びP型Ga<sub>0.615</sub>Al<sub>0.038</sub>In<sub>0.347</sub>N光吸収層47は、共振器長方向に延びるストライプ状の領域に開口部を持っている。

【0050】p型GaNコンタクト層9の上面にはp側電極10が形成され、基板1の裏面にはn側電極11が形成されている。ここでp側電極10は不透明電極であり、発光部より、P型Ga<sub>0.615</sub>Al<sub>0.038</sub>In<sub>0.347</sub>N光吸収層47に設けた該ストライプ状の領域を通り、p型GaNコンタクト層9を経て、素子外部へ至る光路を完全に遮る形で配置されている。一方、n型GaAlInN光吸収層6に設けたストライプ状の開口部は、発光部より、該ストライプ状の領域を通り、n型GaNバッファ層2、n型GaN基板21を経て、マウント面で反射し、また、n型GaN基板21、n型GaNバッファ層2を経て、n型Ga<sub>0.615</sub>Al<sub>0.038</sub>In<sub>0.347</sub>N光吸収層46へ戻る光路を、完全に遮る形で配置されている。

【0051】不図示の電流供給回路から電極10及び11に電圧が与えられ、半導体積層構造体400の中をp側電極10からn側電極11へと電流が流れる。この際、p型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層5と、p型GaNコンタクト層9とに挟まれたp型Ga<sub>0.615</sub>Al<sub>0.038</sub>In<sub>0.347</sub>N光吸収層47は、そのバンドギャップが活性層のそれよりも小さいために、正孔の活性層への注入を阻害する作用をしてしまうが、本実施例のように、当該p型Ga<sub>0.615</sub>Al<sub>0.038</sub>In<sub>0.347</sub>N光吸収層47にストライプ状の開口部を設けておけば、正孔は開口部を通して活性層へ注入される。同様に、n型GaNバッファ層2と、n型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層3とに挟まれたn型Ga<sub>0.615</sub>Al<sub>0.038</sub>In<sub>0.347</sub>N光吸収層46は、そのバンドギャップが活性層のそれよりも小さいために、電子の活性層への注入を阻害する作用をしてしまうが、本実施例のように、当該n型Ga<sub>0.615</sub>Al<sub>0.038</sub>In<sub>0.347</sub>N光吸収層46にストライプ状の開口部を設けておけば、電子は開口部を通して活性層へ注入される。

生じた活性層の発光は、上下のクラッド層中にも一部染み出しを生じる。しかし、該窒化ガリウム系化合物半導体レーザと同一パッケージ内にホトダイオードが配置されていても、p型Ga<sub>0.615</sub>Al<sub>0.038</sub>In<sub>0.347</sub>N光吸収層47及びn型Ga<sub>0.615</sub>Al<sub>0.038</sub>In<sub>0.347</sub>N光吸収層46が、活性層の上下にそれぞれ配置されているために、上下いずれのクラッド層に漏れ出た光も、直接、またはマウント面で反射した後に、光吸収層により

吸収されてしまうか、p側電極10により遮光されてしまうかのいずれかで、いずれの場合によっても、該ホトダイオードにノイズとなって入射し、誤制御の原因となる事はない。

【0052】以下に、図7(a)～(h)を参照しながら、図4の半導体レーザ素子の製造方法を説明する。実施例1で用いたものと同様のMOCVD法によって、1回目の結晶成長を行うため、低抵抗のn型GaN基板21を不図示のMOCVD装置のサセプタ上に配置し、基板温度を1000°C程度にまで昇温した後、n型GaN基板21の上に、n型GaNバッファ層2を成長させる。その後、基板温度を800～850°C程度に降温し、n型GaN<sub>0.615</sub>Al<sub>0.038</sub>In<sub>0.347</sub>N光吸收層46を形成する。こうして、図7(a)に示す構造が得られる。

【0053】次に、一旦、上記半導体層の積層された基板1を成長室から取り出した後、通常のフォトリソグラフィ技術(及びエッティング技術)によって、図7(b)に示すようなSiO<sub>x</sub>(xは1から2程度の整数)マスク12をn型GaN<sub>0.615</sub>Al<sub>0.038</sub>In<sub>0.347</sub>N光吸收層46上に形成する。このマスク12は、図示のとおり、ストライプ状に形成されている。次に、ドライエッティング技術によって、図7(c)に示されるように、n型GaN<sub>0.615</sub>Al<sub>0.038</sub>In<sub>0.347</sub>N光吸收層46のうち、マスク12で覆われていない部分を選択的にエッティングする。n型GaN<sub>0.615</sub>Al<sub>0.038</sub>In<sub>0.347</sub>N光吸收層46が除去され、n型GaNバッファ層2が露出した時点で、エッティングをストップさせる。上記エッティングは、例えば、Cl<sub>2</sub>等のガスを用いたRIEによって行われ得る。この後、図7(d)に示したとおり、適切なエッチャント、例えばマスク12がフォトレジストである場合は有機溶剤、によってマスク12を除去する。

【0054】その後、2回目の結晶成長(再成長)のため、再び、基板をMOCVD装置のサセプタ上にセットし、基板温度を1000°C程度にまで昇温した後、n型Al<sub>0.1</sub>GaN<sub>0.9</sub>Nクラッド層3を成長させる。然る後に再び、基板温度を800～850°C程度に降温し、ノンドープIn<sub>0.29</sub>GaN<sub>0.71</sub>活性層44を形成する。その後、基板温度を1000°C程度にまで昇温した後、MgドープAl<sub>0.1</sub>GaN<sub>0.9</sub>Nクラッド層5を形成する。次に再び、基板温度を800～850°C程度に降温し、MgドープGaN<sub>0.615</sub>Al<sub>0.038</sub>In<sub>0.347</sub>N光吸收層47を成長させる。こうして、図7(e)に示す構造が得られる。

【0055】次に、再度、上記半導体層の積層された基板1を成長室から取り出した後、先述のn型GaN<sub>0.615</sub>Al<sub>0.038</sub>In<sub>0.347</sub>N光吸收層46に対して実施した場合と同様の、通常のフォトリソグラフィ技術及びエッティング技術によって、図7(f)に示した通り、MgドープGaN<sub>0.615</sub>Al<sub>0.038</sub>In<sub>0.347</sub>N光吸收層47に開口部を設ける。

【0056】その後、3回目の結晶成長(再成長)のため、再び、基板1をMOCVD装置のサセプタ上にセットし、基板温度を1000°C程度にまで昇温した後、図7(g)に示した通り、MgドープGaNコンタクト層9を成長させる。しかる後、基板1をMOCVD装置から取り出した後、N<sub>2</sub>雰囲気で、800°Cの熱アニーリングを行い、それによってMgドープ層をp型に変化させる。この後、図7(h)に示すように、p型GaNコンタクト層9上にp側電極10を形成し、低抵抗n型GaN基板の裏面にn側電極11を形成する。

【0057】尚、本実施例中で記載した各層の厚みは、必ずしも記載の通りである必要はなく、それぞれ、実施例3で記載した範囲にあれば何ら問題はない。

【0058】以上、実施例1～4に用いた光吸收層は、GaAlInNであったが、その他、GaInAsP、AlGaInAs等のn型III-V族半導体、CdZnSe等のn型II-VI族半導体、あるいはSiやGeであっても、そのバンドギャップが活性層よりも小さければ良い。

【0059】また、実施例1、3、及び4に用いた光吸收層の導電型は、当該光吸收層が隣接する各層と同じであるが、実施例3及び4に用いた開口部を有する光吸收層については、反対の導電型であってもよい。

【0060】また、光吸收層を配置する位置は、クラッド層から漏れ出る光が確実に吸収され、外部に漏れ出る事の無い位置に配置すればよく、必ずしも本実施例に示した位置に限定されるものではない。

【0061】また、本発明における窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子を構成する基板は、ここに挙げたものに制約されるものではない。即ち、6H-SiCやGaNにも、例えば、サファイア、ZnO、GaN、MgAl<sub>1-x</sub>O<sub>x</sub>、GaAs、LiAlO<sub>2</sub>、LiGaO<sub>2</sub>なども可能である。

【0062】また、積層構造体の形成方法としては、有機金属気相成長法(MOCVD)法を用いたが、その他の原子制御成長法、例えばMBE法やHYPE法などでも何ら問題はない。

【0063】

【発明の効果】本発明によれば、窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子と同一のパッケージ内に配置されるホトダイオードによる誤制御の原因となるところの、当該窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子からの光の漏れを生じない、窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子、当該窒化物系化合物半導体レーザ素子と受光素子が同一のパッケージ内に配置されたレーザ装置、並びに、当該窒化物系化合物半導体レーザ素子を受光素子で光電変換し、その光電変換出力を元に、該窒化物系化合物半導体レーザ素子に注入する電流を制御する回路、が提供される。

50 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の第1の実施例の断面模式図である。

【図2】本発明による窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の第2の実施例の断面模式図である。

【図3】本発明による窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の第3の実施例の断面模式図である。

【図4】本発明による窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の第4の実施例の断面模式図である。

【図5】(a)から(f)は、図2の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の製造方法を示す工程断面図である。

【図6】(a)から(f)は、図3の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の製造方法を示す工程断面図である。

【図7】(a)から(h)は、図4の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の製造方法を示す工程断面図である。

【図8】従来の窒化ガリウム系化合物半導体レーザの断面模式図である。

【図9】従来の窒化ガリウム系化合物半導体レーザを示す模式図である。

【図10】図9に示した従来の窒化ガリウム系化合物半導体レーザを、パッケージに組み込んだ場合の一例を示す概念図である。

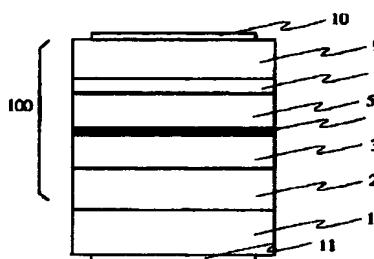
【図11】図10の如く、従来の窒化ガリウム系化合物半導体レーザをパッケージに組み込んだ場合の、該半導体レーザを示す模式図である。

\* 体レーザ素子とホトダイオードとの位置関係を示し、図11(a)は、ホトダイオードを上面から見た場合、図11(b)は、ホトダイオードを真横から見た場合を示す概念図である。

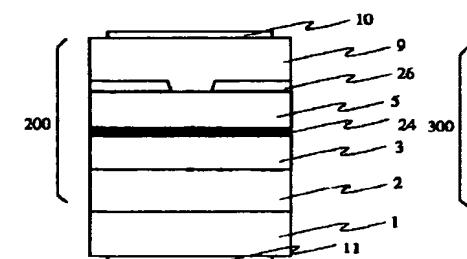
【符号の説明】

- 1 低抵抗n型6H-SiC基板
- 2、22b n型GaNバッファ層
- 3、23 n型AlGaNクラッド層
- 5、28 p型AlGaNクラッド層
- 10 9、59 p型GaNコンタクト層
- 10 p側電極
- 11 n側電極
- 12 エッチングマスク
- 13 エッチングマスクの開口部
- 14、24、34、44 ノンドープInGaN活性層
- 17、37、47 p型GaNAlInN光吸収層
- 21 低抵抗n型GaN基板
- 26、36、46 n型GaNAlInN光吸収層
- 45 n型GaN電流阻止層
- 46 3C-SiC基板
- 50 半導体レーザ素子
- 51 ホトダイオード
- 52 レーザ素子の上面の、電極により被覆されていない領域
- 53 半導体レーザ素子の背面
- 54 Asを添加したGaN発光層

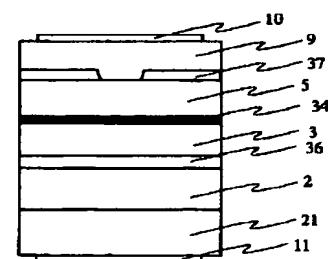
【図1】



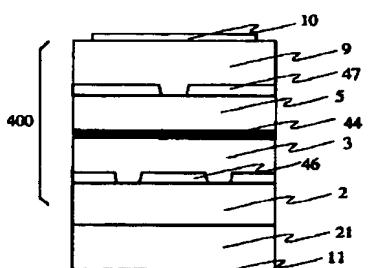
【図2】



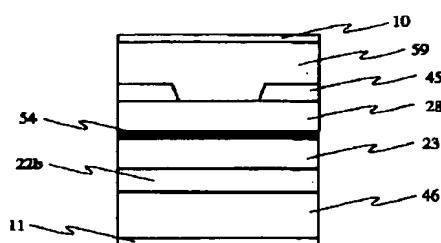
【図3】



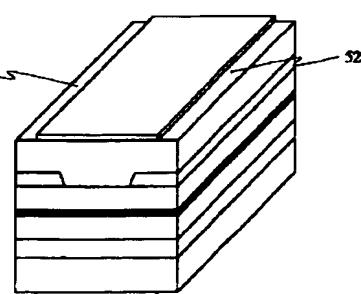
【図4】



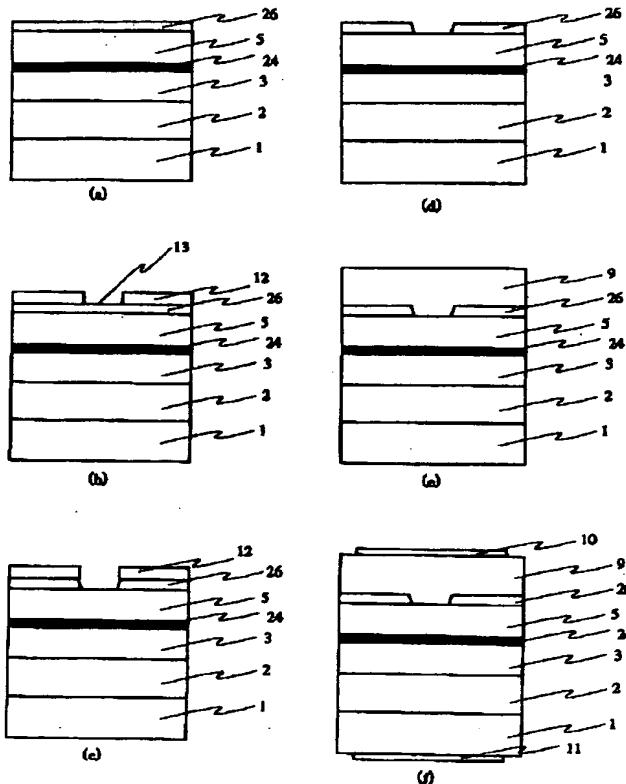
【図8】



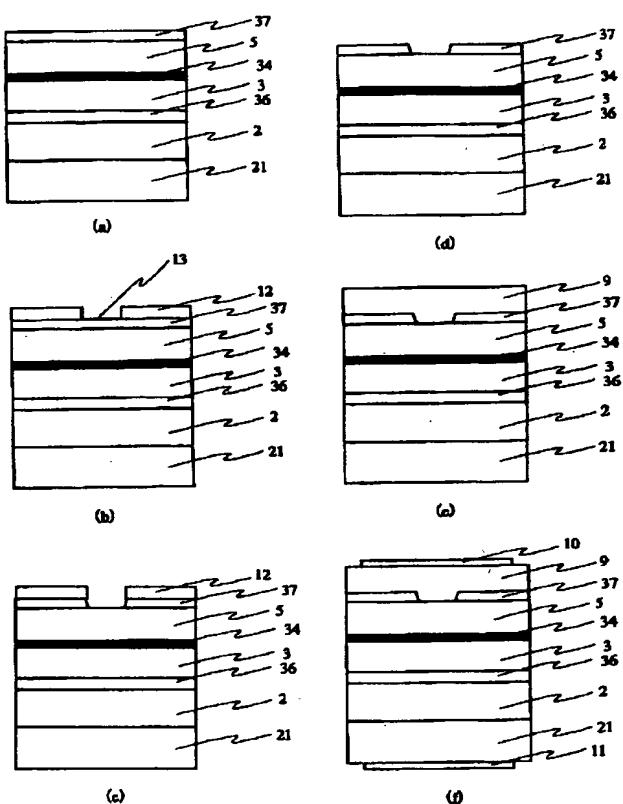
【図9】



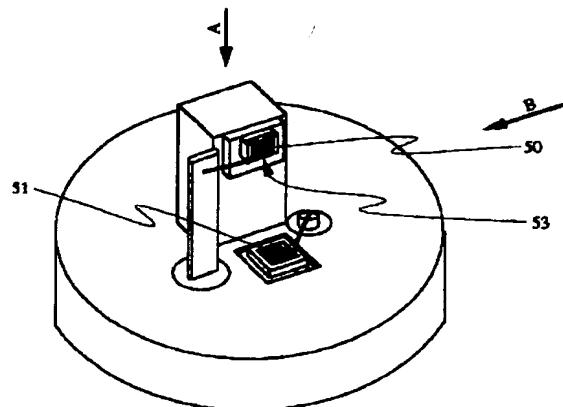
【図5】



【図6】

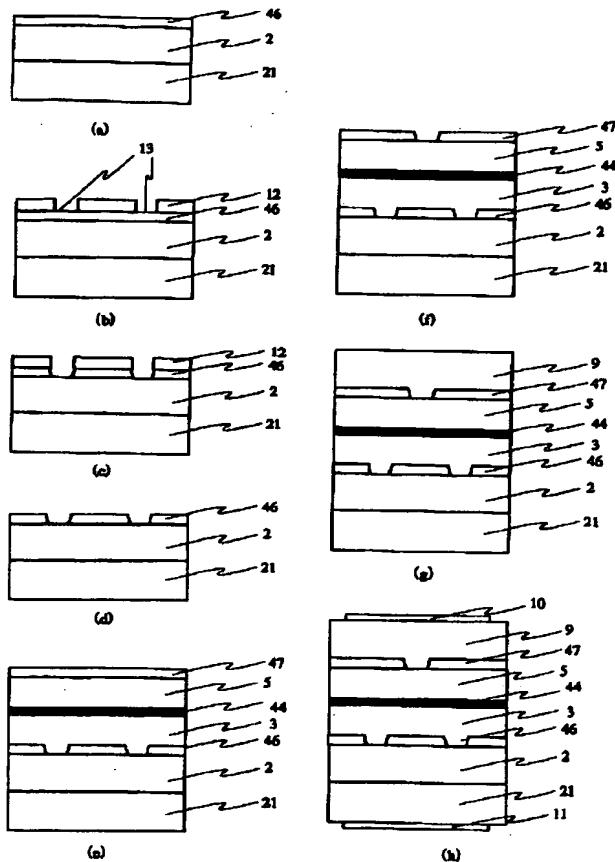


【図10】

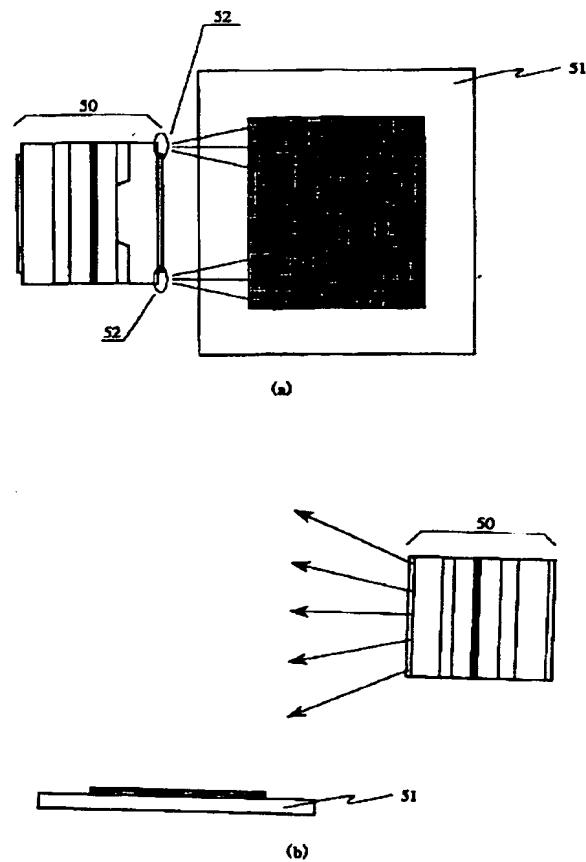


BEST AVAILABLE COPY

【図7】



【図11】



BEST AVAILABLE COPY